

Caratterizzazione morfologica e meristica di *Barbus barbus* (Linnaeus, 1758) e *Barbus tyberinus* (Bonaparte, 1839) nel bacino del Fiume Paglia.

Morphometric and meristic characterisation of Barbus barbus (Linnaeus, 1758) and Barbus tyberinus (Bonaparte, 1839) in the Paglia River basin (Central Italy).

VALENTINA ANGELI

AGNESE BICCHI

Dipartimento di Biologia Ambientale e Animale -
Università di Perugia

ANTONELLA CAROSI

Provincia di Terni, Servizio Programmazione Ittico-Faunistica -
Terni

GIOVANNI PEDICILLO

Dipartimento di Biologia Ambientale e Animale -
Università di Perugia

PAOLO VIALI

Provincia di Terni, Servizio Programmazione Ittico-Faunistica -
Terni

MASSIMO LORENZONI

Dipartimento di Biologia Ambientale e Animale -
Università di Perugia

Key words

Barbus barbus, *Barbus tyberinus*, hybridization, morphometric and meristic characters.

Summary

The aim of this research was to provide a preliminary picture of the morphological characteristics and distribution of the barbel populations present in the Paglia river basin, with a view to setting up an analysis that would enable autochthonous populations to be recognised on a morphological basis.

The research was structured in two phases: the first involving a census of the species present, and the second focusing on the morphological characterisation of the populations. The first phase was aimed at analysing the distribution, abundance, state of hybridisation and some differential aspects of the biology of the populations of the different species of barbel present in the river basin. The aim of the second phase was to characterise the barbel species from a morphological standpoint and to identify those features that distinguish specimens of autochthonous strains.

A total of 185 specimens were examined, of which 39 were classified in the field as *Barbus barbus* and 146 as *Barbus tyberinus*. A series of measurements regarding the main meristic and morphometric features of each specimen were taken. Morphometric assessment also utilised techniques of geometric morphometry. The data gathered were processed by means of multivariate statistical analyses, which enabled us to pick out from among the various parameters analysed those which best distinguished one species from the other.

Riassunto

L'obiettivo di questa ricerca è quello di fornire un quadro preliminare sulle caratteristiche morfologiche delle popolazioni di barbo presenti nel bacino del fiume Paglia, ciò allo scopo di evidenziare i caratteri che permettono di riconoscere gli esemplari della specie autoctona.

Sono stati analizzati complessivamente 185 esemplari, dei quali 39 sono stati determinati sul campo come *Barbus barbus* e 146 come *Barbus tyberinus*. Per ogni esemplare è stata effettuata una serie di misurazioni riguardanti i principali caratteri meristici e morfometrici; per questi ultimi sono state utilizzate anche tecniche di morfometria geometrica. I dati raccolti sono stati elaborati mediante analisi delle componenti principali che ha permesso di selezionare, tra tutti i parametri analizzati, quelli in grado di discriminare meglio le due specie tra loro.

Introduzione

L'introduzione delle specie esotiche può essere considerato uno dei più importanti e meno studiati fattori di degrado degli ecosistemi acquatici (Mills *et al.*, 1993; Lodge *et al.*, 2000; Mack *et al.*, 2000). A causa delle introduzioni la biodiversità può decrescere se la specie introdotta esclude una o più specie indigene, endemiche o a limitata distribuzione (McKinney e Lockwood, 1999); ciò può essere causa di banalizzazione ed omogeneizzazione della fauna ittica locale (Bianco, 1990). Un fenomeno altrettanto pericoloso per la perdita della diversità biologica è l'inquinamento genetico (Allendorf, 1991). Per il genere *Barbus* il problema del riconoscimento ed individuazione degli esemplari autoctoni è estremamente complicato dal mancato raggiungimento di un' impostazione sistematica unanimemente accettata (Bianco, 1995, 2003a, 2003b, 2003c; Zerunian, 2002, 2003) e dalle difficoltà di determinazione degli esemplari; ciò anche a causa della facilità con cui le diverse specie si ibridano fra loro (Betti, 1993; Crespin e Berrebi, 1994). Alla luce di tali problematiche è stata ravvisata l'importanza di intraprendere uno studio che porti al riconoscimento delle popolazioni autoctone del genere *Barbus* presenti nelle acque del territorio della provincia di Terni. Lo studio vuole fornire, per quanto possibile allo stato attuale delle conoscenze, un quadro delle caratteristiche morfologiche delle popolazioni di barbo presenti nel bacino del fiume Paglia; ciò allo scopo di impostare un'analisi che permetta di riconoscere su base morfologica le popolazioni autoctone presenti e verificare in modo preliminare la presenza di individui ibridi. Il barbo del Tevere (*Barbus tyberinus*, Bonaparte 1839) è la specie del genere *Barbus* che ha l'areale di distribuzione più ampio in Umbria; esso risulta, infatti, diffuso nell'asta principale del Tevere e nei bacini di tutti i suoi affluenti principali, dove si localizza nel tratto intermedio e terminale dei corsi d'acqua (zona a barbo) (Carosi *et al.*, 2006). *Barbus barbus* (Linneo, 1758) o barbo del Danubio è una specie ittica che è stata introdotta abbastanza di recente in Umbria, infatti, è stata rinvenuta per la prima volta nel 1998 (Mearelli *et al.*, 2001). Tale specie si è dimostrata in grado di ambientarsi molto bene nei corsi d'acqua del bacino del Tevere; si è infatti acclimatata ed è in rapida espansione in tutti i corsi d'acqua più importanti. Attualmente è presente nel bacino del fiume Tevere ed in quello di tutti i suoi affluenti principali ad eccezione del fiume Nera (Lorenzoni *et al.*, 2004a; Carosi *et al.*, 2006).

Area di studio

Il bacino del fiume Paglia si estende alle regioni Umbria, Toscana e Lazio ed interessa le province di Perugia, Terni, Grosseto, Siena, Arezzo e Viterbo; esso comprende un'area di circa 1320 km², di cui circa 679 km² sono collocati al di fuori del territorio umbro (Fig. 1) (Mearelli *et al.*, 1996). Il bacino ha un'altezza massima di 1734 m s.l.m. in corrispondenza del monte Amiata.



Fig. 1 - Localizzazione del bacino umbro del fiume Paglia.
Fig. 1 - Location of the Umbrian basin of the River Paglia.

La quota media del bacino è di 443 m s.l.m., con pochissime zone di altitudine che superano i 1000 m s.l.m.; circa l'81% dell'area ha una quota compresa tra i 200 e i 600 m s.l.m. (CNR, 1982). Il fiume Paglia, lungo 67 km, è un affluente di destra del fiume Tevere: ha carattere prevalentemente torrentizio, nasce sulle pendici orientali del monte Amiata, a ovest dell'abitato di Radiocofani in provincia di Siena. Il Paglia ha come affluente di sinistra il fiume Chiani e di destra i corsi d'acqua drenanti gli altopiani vulcanici del lago di Bolsena (CNR, 1982).

Materiali e metodi

Il campione esaminato è costituito da 185 esemplari che sono stati catturati nel periodo compreso fra l'ottobre 2003 ed il febbraio 2004. I prelievi sono stati effettuati su quattro corsi d'acqua per un totale di sei stazioni di campionamento: 3 sul fiume Paglia, 1 sul fiume Chiani, 1 sul torrente Carpina ed 1 sul torrente Sentino; questi ultimi due corsi d'acqua sono stati inclusi nella ricerca poiché attualmente non interessati dalla presenza della specie alloctona. I campionamenti sono stati effettuati mediante pesca elettrica, utilizzando elettrostorditori di potenza diversa. Sul campo ogni esemplare è stato determinato sulla base di un'ispezione preliminare delle sole caratteristiche morfologiche; sono stati valutati, inoltre, la lunghezza totale (LT) (± 1 cm) ed il peso (± 1 g) ed è stato prelevato un campione di scaglie per la successiva determinazione dell'età. Sempre sul campo, con una macchina digitale Nikon D100 sono state effettuate le riprese fotografiche di tutti gli esemplari sistemati con le pinne distese. Parte del campione catturato (88 esemplari) è stato sacrificato mediante la permanenza prolungata in una soluzione di acetonecloroformio, quindi condotto in laboratorio per le successive analisi

I caratteri morfometrici e meristici rilevati in laboratorio sono riportati nella tabella 1 e 2; tutte le misure sono state effettuate sul fianco sinistro del pesce.

Codice	Parametro
LT	Lunghezza totale
LF	Lunghezza alla furca
DO	Diametro dell'occhio
DINT	Distanza interorbitale
LBAR	Distanza tra i barbigli

Tab. 1 - Elenco dei parametri morfometrici rilevati in laboratorio.
 Tab. 1 - List of the morphometric parameters measured in the laboratory.

Codice	Parametro
NBRANCH	N° branchiospine del 1° arco branchiale
NLL	N° scaglie sulla linea laterale
NSOPRA	N° scaglie sopra la linea laterale
NSOTTO	N° scaglie sotto la linea laterale
NPD	N° raggi ramificati della pinna dorsale
NPA	N° raggi ramificati della pinna anale
NDENT	N° dei dentelli sul raggio semplice pinna dorsale
DISDENT	Disposizione dei dentelli sulla pinna dorsale
DIMDENT	Dimensioni dei dentelli sulla pinna dorsale
FORMDENT	Forma dei dentelli sulla pinna dorsale
COLPER	Colore del peritoneo
PUNT	Presenza di punti sui fianchi
MACC	Presenza di macchie sui fianchi
RETSQ	Presenza di reticolo sulle squame
PUNTSQ	Presenza di punti sulle squame
PUNTPD	Presenza di punti sulla pinna dorsale
PUNTPA	Presenza di punti sulla pinna anale
PUNTPC	Presenza di punti sulla pinna caudale
COLPV	Colorazione delle pinne ventrali
COLPA	Colorazione della pinna anale
COLPD	Colorazione della pinna caudale

Tab. 2 - Elenco dei parametri meristici rilevati in laboratorio.
 Tab. 2 - List of the meristic parameters measured in the laboratory.

Le branchiospine sono state contate al microscopio ottico dopo aver asportato il primo arco branchiale di sinistra del pesce, nel quale sono state contate esclusivamente le spine della fila più interna. Nella conta dei raggi delle pinne sono stati considerati unicamente i raggi ramificati. Il conteggio dei dentelli presenti nel raggio ossificato della pinna dorsale, è stata effettuata al microscopio ottico dopo averlo estratto dal resto della pinna e ripulito mediante immersione in una soluzione diluita di ipoclorito di sodio. In questa fase è avvenuta anche la determinazione del sesso mediante dissezione degli esemplari ed analisi macroscopica delle gonadi (Bagenal, 1985).

Dalle foto riprese sul campo sono stati misurati altri parametri morfometrici e meristici il cui elenco è riportato nella tabella 3. Tutte le misurazioni sono state effettuate utilizzando il software ImageJ.

Codice	Parametro
LOC	Lunghezza all'occhio
LOP	Lunghezza all'opercolo
LPP	Lunghezza pinna pettorale
LPV	Lunghezza pinna ventrale
NPD	N° raggi ramificati pinna dorsale
NPA	N° raggi ramificati della pinna anale
NLL	N° scaglie sulla linea laterale
NSOPRA	N° scaglie sopra la linea laterale
NSOTTO	N° scaglie sotto la linea laterale
PUNT	Presenza di punti sui fianchi
MACC	Presenza di macchie sui fianchi
RETSQ	Presenza di reticolo sulle squame
PUNTSQ	Presenza di punti sulle squame
PUNTPD	Presenza di punti sulla pinna dorsale
PUNTPA	Presenza di punti sulla pinna anale
PUNTPC	Presenza di punti sulla pinna caudale
COLPV	Colorazione delle pinne ventrali
COLPA	Colorazione della pinna anale
COLPD	Colorazione della pinna caudale
HPDmax	Altezza raggio ossificato pinna dorsale
HPDmin	Altezza 3° raggio ramificato pinna dorsale
HPA	Altezza della pinna anale
SupPDdri	Superficie pinna dorsale con margine dritto
SupPD	Superficie pinna dorsale reale

Tab. 3 - Elenco dei parametri rilevati in laboratorio sulle immagini riprese sul campo.

Tab. 3 - List of the parameters evaluated in the laboratory on the basis of on-site photographs.

Per identificare le specie all'interno del genere *Barbus*, un carattere che può risultare determinante è rappresentato dalla forma del margine superiore della pinna dorsale (Bianco, 1995); per misurare la presenza di una eventuale curvatura nel profilo della pinna si è proceduto con la misurazione dell'altezza dell'ultimo raggio semplice della pinna dorsale (HPDMax), che generalmente è quello più lungo, e del terzo raggio ramificato (HPD3raggio) che è collocato

al centro della pinna stessa. Dalla differenza nella lunghezza tra i due raggi si è ricavato un ulteriore parametro, che è in grado di esprimere la concavità della curva (Curva): maggiore è il valore del parametro, tanto più marcata risulta la concavità della pinna dorsale. La forma della pinna dorsale è stata ulteriormente analizzata calcolando, sempre mediante analisi delle immagini, la superficie della pinna; le misure rilevate sono state due. La prima (SupPDdri) ha preso in considerazione il poligono di massima superficie che inscrive la pinna, cioè è stata considerata quella figura geometrica ottenuta dalla congiunzione mediante rette dei punti più esterni della pinna (Fig. 2).

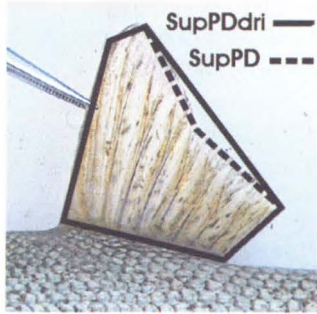


Fig. 2 - Misura delle superfici della pinna dorsale.
Fig. 2 - Surface area measurement of the dorsal fin.

La seconda superficie misurata ha seguito il reale profilo della pinna (SupPD). Anche in questo caso è stata ottenuta per differenza una terza misurazione (DiffPD), in grado di esprimere il grado di scostamento del profilo superiore della pinna da una retta: più grande è la differenza tra le due superfici maggiore è il grado di concavità della pinna dorsale.

Oltre a tali caratteri morfometrici e meristici tradizionali, dalle immagini sono state ricavate altre misurazioni ottenute utilizzando il metodo della "box-truss" di Strauss e Bookstein (1982). Tali autori propongono la misurazione di alcuni parametri geometrici derivanti dalla costruzione di un reticolo chiamato box-truss, ottenuto individuando alcuni punti di particolare significato biologico (landmark). Le distanze morfometriche tradizionali considerano aspetti della forma irregolari e ridondanti, mentre l'analisi delle dimensioni della box-truss è particolarmente sensibile ai mutamenti di forma degli esemplari; pertanto le distanze tra i landmark possono risultare parametri importanti per la discriminazione tra gruppi di esemplari appartenenti alla stessa specie e tra specie diverse. Ciò è avvalorato da diversi studi che hanno paragonato le misure morfometriche tradizionali e le distanze geometriche della box-truss (Strauss e Bookstein, 1982; Schweigert, 1990; Roby *et al.*, 1991). Nella foto riportata nella figura 3 viene illustrata la posizione dei 15 landmark individuati sul profilo dei barbi e le distanze che li uniscono secondo lo schema della box-truss:

per ogni esemplare le coordinate (x,y) dei landmark sono state elaborate allo scopo di ricavare le 28 misure geometriche necessarie a ricostruire la forma del pesce.

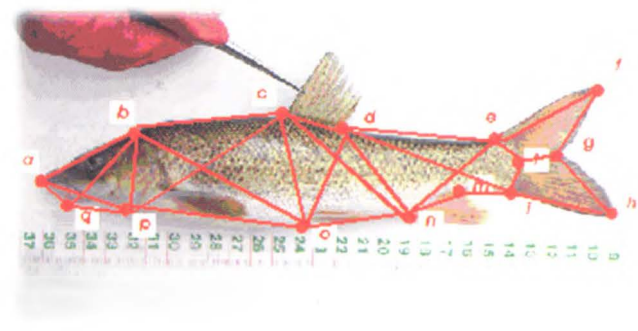


Fig. 3 - Posizione dei landmark e Box-truss.
Fig. 3 - Position of the landmarks and Box-trusses.

In totale, quindi, sono stati considerati 66 parametri, dei quali 15 sono morfometrici, 23 meristici e 28 distanze geometriche. La presenza di differenze nelle dimensioni e nell'età media degli individui esaminati suggerisce la necessità di eliminare l'effetto della variabilità legata alla taglia per procedere alle successive analisi. Al tal fine è stata effettuata una trasformazione dei parametri morfometrici e delle distanze utilizzando il metodo del rapporto percentuale con la lunghezza totale (Gandolfi *et al.*, 1991; Lorenzoni *et al.*, 1991; Lorenzoni *et al.*, 2003):

$$M_i = \frac{M_o}{LT} \times 100$$

dove:

M_i = misura standardizzata

M_o = misura del carattere osservato

LT = lunghezza totale

Risultati

La lunghezza totale del campione complessivo presenta un valore medio di 17,79 cm; l'intervallo di variazione oscilla fra un minimo di 5,00 ed un massimo di 46,17 cm, con una deviazione standard di 7,20 cm. Per quanto riguarda il peso, questo varia da un minimo di 1,00 ad un massimo di 910,00 g, con un valore medio di 79,04 g; la deviazione standard è pari a 101,17 g. L'età degli esemplari più anziani risulta pari a 6,67 anni, mentre i più giovani hanno 0,33 anni; l'età media del campione è pari a 2,81 anni (deviazione standard = 1,29).

Il campione complessivo è stato anche disaggregato per specie; si precisa che la separazione degli individui fra le due specie è avvenuta sul campo con un approccio esclusivamente morfologico ed ha essenzialmente lo scopo di verificare il grado di omogeneità delle taglie. Nelle analisi di tipo morfometrico, infatti, è fondamentale effettuare com-

parazioni fra gruppi di individui che abbiano taglie omogenee per evitare l'effetto di un accrescimento di tipo allometrico (Beacham, 1985; Reist, 1985). All'interno del campione dei 185 esemplari validi per le elaborazioni, 146 sono risultati appartenenti a *Barbus tyberinus* e 39 appartenenti a *Barbus barbus*. I barbi del Tevere presentano una lunghezza totale media di 17,57 cm, con valori che risultano compresi fra un minimo di 5,00 ed un massimo di 46,17 cm (deviazione standard=7,43); tali esemplari hanno un peso medio di 77,89 g, con un valore minimo di 1,00 ed un massimo di 910,00 g (deviazione standard=108,09); per quanto riguarda l'età essi presentano un'età media di 2,90 anni, con un minimo di 0,33 ed un massimo di 6,67 anni (deviazione standard=1,34). I barbi del Danubio raggiungono una lunghezza media di 18,62 cm, con valori oscillanti fra un minimo di 6,20 ed un massimo di 29,60 cm (deviazione standard=6,29); il loro peso è mediamente pari a 83,29 g, con valori estremi di 3 e di 254 g (deviazione standard=70,67), mentre la loro età media è di 2,55 anni, con un minimo di 0,42 ed un massimo di 5,42 anni (deviazione standard=1,12). I risultati indicano quindi che i barbi del Danubio risultano mediamente più grandi rispetto ai barbi del Tevere, ma questi ultimi appaiono più anziani rispetto ai primi. Tali differenze appaiono giustificabili da un diverso accrescimento; il barbo del Danubio sembra essere, infatti, caratterizzato da una velocità di accrescimento più rapida e da una maggiore taglia massima rispetto al barbo del Tevere (Bianco, 1995, 2003b; Maitland, 2004). Per il campione disaggregato per specie è stato effettuato un confronto mediante analisi del *t*-test fra le medie dei parametri esaminati; dal confronto le differenze non appaiono statisticamente significative né per la lunghezza totale ($t=0,65$; $p=0,422$), né per il peso ($t=0,09$; $p=0,768$), né per l'età ($t=2,03$; $p=0,156$).

Allo scopo di eliminare l'effetto della variabilità legata alla presenza di dimorfismo sessuale è stata effettuata una

selezione dei parametri da utilizzare nelle successive elaborazioni, selezione che è stata realizzata mediante un confronto statistico fra i sessi. Il set di dati utilizzato nel confronto è composto dai parametri meristici e dai parametri morfometrici e geometrici trasformati mediante rapporto percentuale. La tabella 4 riporta la statistica descrittiva dei parametri morfometrici e geometrici trasformati risultati differire nei due sessi all'analisi del *t*-test ($p<0,05$).

	%	χ^2	p
MACC presenti	Maschi 70,18 Femmine 92,86	5,56	0,018
MACC assenti	Maschi 29,82 Femmine 7,14		
Dentelli dritti	Maschi 64,00 Femmine 90,48	5,12	0,024
Dentelli uncinati	Maschi 36,00 Femmine 9,52		

Tab. 4 - Confronto tra i sessi dei parametri meristici.

Tab. 4 - *Inter-sex comparison of the meristic parameters.*

Anche per i parametri meristici di tipo quantitativo è stato condotto un confronto mediante *t*-test nel campione disaggregato per sesso. Le uniche differenze emerse tra i due sessi riguardano le branchiospine sulla 1^a arcata branchiale, che sono risultate nelle femmine più numerose (valore medio=11,11; deviazione standard=1,85) rispetto ai maschi (valore medio=9,82; deviazione standard=1,36) in modo altamente significativo ($t=13,02$; $p=0,001$). Per quanto riguarda gli altri parametri meristici di tipo qualitativo il confronto fra i sessi è stato effettuato sulle frequenze utilizzando il test del χ^2 di Pearson; i risultati sono riportati nella tabella 5.

	femmine			maschi			t-test	
	N Valori	Media	Dev.Std.	N Valori	Media	Dev.Std.	t	p
DINT	28	6,46	0,50	57	5,95	0,76	4,81	0,031
SupPDdri	27	25,31	6,79	56	21,34	5,86	13,14	0,001
SupPD	27	25,26	6,11	56	20,57	5,24	16,31	0,000
HPA	28	16,10	1,24	57	13,58	1,21	72,14	0,000
bc	28	29,23	2,32	57	28,22	1,46	6,03	0,016
bp	28	14,07	0,86	57	13,72	0,59	4,71	0,033
cp	28	34,91	2,35	57	33,86	1,63	5,74	0,019
hi	28	19,56	2,26	57	20,73	1,64	7,32	0,008
mn	27	6,74	0,66	57	6,32	0,93	4,40	0,039

Tab. 5 - Statistica descrittiva dei parametri morfometrici trasformati e delle distanze nel campione disaggregato per sesso statisticamente significativi.

Tab. 5 - *Descriptive statistics of the statistically significant morphometric parameters and distances in the sample broken down according to sex.*

Tutti i parametri che sono risultati differire fra i sessi in modo statisticamente significativo sono stati esclusi dalla successiva elaborazione, rappresentata dall'analisi delle componenti principali. Tale tecnica di statistica multivariata è molto utilizzata nelle ricerche morfometriche in quanto permette di rimuovere l'effetto della variabilità legata alla taglia degli esemplari, senza ricorrere a trasformazioni delle variabili originali. Il modello utilizzato, infatti, estrae delle nuove variabili (componenti principali) che rappresentano una combinazione lineare delle variabili di partenza: quando sono presenti delle misure che risultano correlate alla taglia, queste vengono in genere rappresentate nella prima componente estratta, che può essere quindi rimossa. Le componenti successive alla prima descrivono meglio le differenze di forma esistenti nella popolazione, indipendentemente dalla taglia e possono essere utilizzate con successo per l'ordinamento dei dati e nel confronto fra gruppi di individui (Cadrin e Friedland, 1999; Cadrin 2000; Dellinger *et al.*, 2000). Nel modello sono stati inseriti, oltre ai parametri morfometrici, meristici e geometrici misurati sugli esemplari esaminati, anche il peso e l'età degli individui: la matrice dei dati utilizzata è pertanto composta da 55 parametri (peso, età e i parametri rimasti dopo la verifica del dimorfismo sessuale: 12 parametri morfometrici, 18 parametri meristici e 23 parametri geometrici). Dall'analisi è stato anche escluso il numero dei raggi ramificati della pinna dorsale, poiché tale parametro è sempre risultato costante in tutti gli esemplari analizzati. I dati sono stati normalizzati e successivamente standardizzati: la normalizzazione è stata effettuata mediante trasformazione logaritmica $y = \log(x + 1)$, mentre la standardizzazione è stata effettuata ponendo la media di tutti i parametri pari a 0 e la deviazione standard pari a 1 (Brown e Austen, 1996).

La tabella 6 riporta i risultati dell'analisi delle componenti principali, mostrando gli autovalori e la varianza giustificata dalle prime 3 componenti estratte, mentre la tabella 7 illustra le coordinate fattoriali delle variabili.

Componente	Autovalore	% varianza	Varianza cumulata
PC1	34,45	58,93	58,93
PC2	4,25	7,73	66,73
PC3	2,31	4,20	70,92

Tab. 6 - Analisi delle componenti principali: autovalori e varianza giustificata dalle prime 3 componenti.

Tab. 6 - Analysis of the main components: eigenvalues and variance justified by the first 3 components.

	PC1	PC2	PC3		PC1	PC2	PC3
Lt	-0,98	-0,08	-0,02	ab	-0,94	-0,10	0,22
Lf	-0,98	-0,08	-0,01	ap	-0,85	-0,06	0,32
Peso	-0,98	-0,07	-0,06	aq	-0,71	-0,02	0,41
Età	-0,87	-0,27	0,02	bo	-0,97	-0,14	-0,03
DO	-0,52	-0,44	-0,10	bq	-0,96	-0,18	0,09
LOC	-0,94	-0,01	0,15	cd	-0,98	-0,04	-0,04
LOP	-0,96	-0,09	0,07	cn	-0,97	-0,12	-0,05
LBAR	-0,93	0,06	-0,07	co	-0,97	-0,08	-0,08
LPV	-0,95	0,05	-0,08	de	-0,95	-0,15	-0,07
LPP	-0,97	-0,01	-0,04	di	-0,97	-0,15	-0,08
HPDMax	-0,97	0,12	-0,02	dn	-0,96	-0,14	-0,05
HPD3raggio	-0,96	-0,02	-0,02	do	-0,97	-0,09	-0,07
Curva	-0,85	0,35	-0,05	ef	-0,94	0,00	0,07
DiffPD	-0,56	0,64	-0,07	el	-0,86	-0,08	0,04
LL	0,04	-0,12	-0,53	en	-0,96	-0,10	-0,08
SOPRA	0,10	-0,18	-0,55	fg	-0,89	0,07	0,05
SOTTO	0,25	-0,22	-0,07	gh	-0,92	-0,04	0,11
NRAGGIPA	-0,02	0,21	0,02	gl	-0,90	-0,17	-0,09
Peritoneo	-0,08	0,01	-0,21	il	-0,94	-0,06	0,12
Puntineri	-0,08	-0,20	-0,18	im	-0,92	-0,01	-0,13
Reticolatura	-0,26	0,55	0,19	no	-0,95	-0,16	-0,06
Puntisquame	-0,41	0,58	-0,03	op	-0,96	-0,15	-0,07
PuntiPD	0,09	0,21	0,39	pq	-0,85	-0,19	0,13
PuntiPA	0,20	-0,44	0,14				
PuntiPC	0,14	-0,17	-0,32				
ColPV	-0,16	0,41	-0,34				
ColPA	-0,23	0,28	-0,43				
ColPC	-0,33	0,24	-0,70				
N°denti1fila	-0,42	0,70	-0,06				
N°denti2fila	-0,44	0,46	-0,05				
Disdenti	0,44	-0,71	-0,12				
Dimdenti	-0,44	0,72	0,08				

Tab. 7 - Analisi delle componenti principali: coordinate fattoriali dei parametri esaminati (in grassetto i valori > 0,05).

Tab. 7 - Analysis of the main components: factorial coordinates of the parameters examined (in bold type, values of $p > 0.05$).

La prima componente, con un autovalore pari a 34,446, giustifica il 58,993% della varianza complessiva e mostra la presenza di una correlazione positiva fra la taglia degli esemplari (espressa come lunghezza totale, lunghezza alla furca, peso ed età) con tutti i parametri morfometrici e la totalità delle distanze; nessuno dei parametri meristici, al contrario, appare in relazione alla taglia. La seconda componente, con un autovalore pari a 4,254, giustifica il 7,734% della varianza complessiva e mostra la presenza di una correlazione positiva tra la forma della pinna dorsale, la presenza di punteggiatura sulle squame e di reticolatura sui fianchi, il numero dei dentelli sull'ultimo raggio semplice della pinna dorsale e la dimensione dei denti; la correlazione è negativa con la disposizione dei denti. La terza componente, con un autovalore pari a 2,308, giustifica il 4,196% della varianza complessiva e mostra la presenza di

una correlazione negativa tra il numero delle squame sulla e sopra la linea laterale e la colorazione della pinna caudale. Nel grafico della figura 4 viene riportata la distribuzione degli esemplari esaminati nel piano fattoriale rappresentato dalla seconda (PC2) e dalla terza componente (PC3).

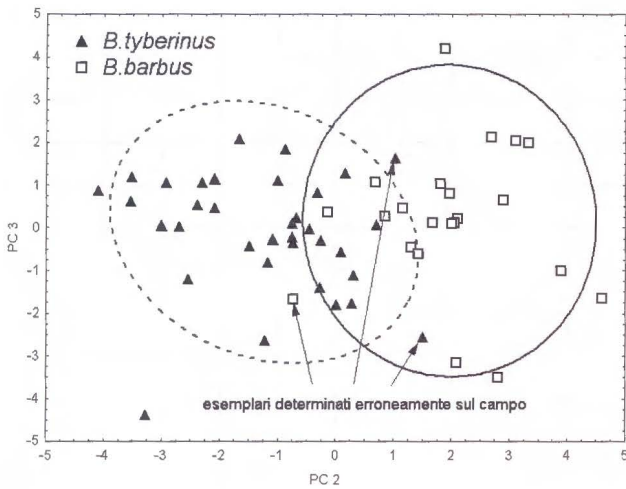


Fig. 4 - Analisi delle componenti principali: distribuzione degli individui esaminati sul piano fattoriale PC2 x PC3.

Fig. 4 - Analysis of the main components: distribution of the specimens examined on a factorial basis PC2 x PC3.

L'analisi conferma la presenza di una divisione dei barbi in due insiemi distinti, con una separazione che avviene soprattutto mediante la seconda componente estratta. I due gruppi separati dall'analisi delle componenti principali coincidono in misura molto accentuata con la determinazione degli individui effettuata sul campo: tutti gli esemplari appartenenti alla specie *Barbus tyberinus* rientrano all'interno di uno stesso gruppo, tranne due; un secondo gruppo è formato da tutti gli individui determinati come *Barbus barbus*, con l'eccezione di un solo esemplare. Analizzando le immagini dei tre esemplari che non ricadono nel gruppo della propria specie emerge come questi individui siano stati determinati sul campo in maniera errata nella fase preliminare di raccolta dei campioni; questo dimostra l'oggettiva difficoltà che si riscontra nella determinazione delle due specie basandosi sui criteri esclusivamente di tipo morfologico. Nel grafico della figura 4 è comunque presente una zona di sovrapposizione tra i due gruppi, in questa zona sono presenti 10 esemplari di barbo tiberino e 6 di barbo del Danubio. Una verifica delle immagini di tali esemplari, eseguita indagando a posteriori e in maniera più approfondita le loro caratteristiche, dimostra come questi presentino delle caratteristiche intermedie tra le due specie e quindi non si esclude che possa trattarsi di individui ibridi.

Conclusioni

La ricerca ha evidenziato l'esistenza di dimorfismo sessuale per alcuni caratteri morfologici, con la forma della pinna anale che può risultare molto utile per riconoscere il sesso degli esemplari: una pinna anale avente il margine posteriore che raggiunge la base della caudale viene considerato uno dei caratteri tipici ed esclusivi del barbo canino (*Barbus meridionalis* Risso, 1826) (Gandolfi *et al.*, 1991; Bianco, 2003a), mentre nel nostro caso sembra contraddistinguere soprattutto gli esemplari di sesso femminile.

I risultati dell'analisi delle componenti principali confermano l'esistenza di una dipendenza delle misure morfometriche e geometriche dalle dimensioni degli esemplari sui quali tali misure sono state effettuate; emerge anche come nessun carattere meristico venga, al contrario, influenzato dalla taglia. L'analisi dimostra anche che le conseguenze di tale variabilità possono essere facilmente evitate scartando la prima componente estratta ed utilizzando le successive, fra le quali la seconda risulta particolarmente efficace nel discriminare correttamente tra le due specie. Viene quindi confermata l'importanza assunta da alcuni caratteri diagnostici, anche se si evidenzia la difficoltà di discriminare sul campo gli esemplari delle due specie basandosi esclusivamente sulla loro morfologia (Betti, 1993; Tsigenopoulos *et al.*, 1999). Come già indicato in letteratura (Bianco, 1995, 2003b; Bianco e Keitmayer, 2001) la forma della pinna dorsale, il numero, la disposizione e la dimensione dei dentelli presenti sull'ultimo raggio semplice della pinna dorsale e alcune caratteristiche della livrea risultano i caratteri che meglio di altri permettono di distinguere le due specie. Il barbo del Tevere si caratterizza rispetto al barbo del Danubio per avere una pinna dorsale con un profilo superiore nettamente meno arcuato, per la presenza di un numero meno elevato di dentelli sul raggio ossificato della pinna dorsale, i dentelli sono anche meno robusti e risultano collocati su una minore estensione del raggio (più localizzati nella parte prossimale); per quanto riguarda la livrea, il barbo del Danubio ha anche la caratteristica di possedere le squame circondate da melanofori (più addensati nella parte anteriore), per cui si forma un tipico reticolo sui fianchi (Fig.5).

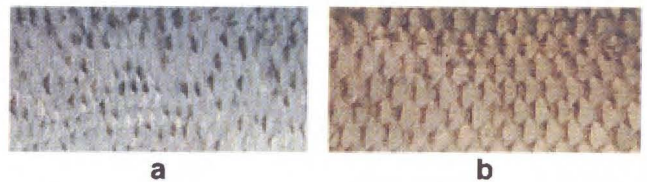


Fig. 5 - Immagine dei fianchi nel barbo tiberino (a) e nel barbo del Danubio (b).

Fig. 5 - Image of the flanks of tiberin barbel (a) and european barbel (b).

Non si evidenziano al contrario differenze di rilievo in alcuni caratteri meristici, come il numero di squame disposte lungo la linea laterale o il numero di raggi che sorreggono le pinne.

Dalla ricerca emerge come un certo numero di soggetti possieda, tuttavia, alcune caratteristiche che sono intermedie fra quelle tipiche delle due specie; ciò può rendere incerta la determinazione degli esemplari sul campo. Le difficoltà aumentano notevolmente per i soggetti di dimensioni ridotte, per i quali i margini di errore aumentano notevolmente. La presenza di tali esemplari a morfologia intermedia sembra inoltre confermare la possibilità che nell'area indagata siano in atto dei fenomeni di inquinamento genetico. Il barbo del Tevere sembra già penalizzato da un'interazione di tipo competitivo con il barbo del Danubio (Carosi *et al.*, 2006), per cui se la presenza di introgressione genetica sarà confermata da ulteriori ricerche, ciò non potrà che aumentare le preoccupazioni per la conservazione della specie autoctona.

Bibliografia

- ALLENDORF F. W., 1991. Ecological and genetic effects of fish introductions: synthesis and recommendations. *Can. J. Fish. Aq. Sc.*, 48 (Suppl.1): 178-181.
- BAGENAL T. B., 1985. Methods for assessment of fish production in fresh waters. Ed. Blackwell Scientific Publications Ltd., London, 365 pp.
- BEACHAM T. D., 1985. Meristic and morphometric variation in pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) in southern British Columbia and Puget Sound. *Can. J. Zool.*, 63: 366-372.
- BETTI L., 1993. Prime osservazioni sull'ibridazione tra Barbo comune (*Barbus barbus plebejus* Val.) e Barbo canino (*Barbus meridionalis* Risso). *Acta Biologica*, 70: 23-28.
- BIANCO P. G., 1990. Proposta di impiego, di indici e di coefficienti per la valutazione dello stato di degrado dell'ittiofauna autoctona delle acque dolci. *Rivista di Idrobiologia*, 29 (1): 130-149.
- BIANCO P. G., 1995. A revision of the Italian *Barbus* species (Cypriniformes: Cyprinidae). *Ichthyol. Explor. Freshwater.*, 6 (4): 305-324.
- BIANCO P. G., 2003a. *Barbus caninus*, 1839. In P. Benarescu and N.G. Bogutskaya: The freshwater fishes of Europe. Vol 5 (2): Cyprinidae 2. Part II: *Barbus*. Aula Verlag, Wiebelsheim, 427-450.
- BIANCO P. G., 2003b. *Barbus tyberinus* Bonaparte, 1839. In P. Benarescu and N.G. Bogutskaya: The freshwater fishes of Europe. Vol 5 (2): Cyprinidae 2. Part II: *Barbus*. Aula Verlag, Wiebelsheim, 427-450.
- BIANCO P. G., 2003c. *Barbus plebejus* Bonaparte, 1839. In P. Benarescu and N.G. Bogutskaya: The freshwater fishes of Europe. Vol 5(2): Cyprinidae 2. Part II: *Barbus*. Aula Verlag, Wiebelsheim, 339-364.
- BIANCO P.G., KEITMAYER V., 2001. Anthropogenic changes in the freshwater fish fauna of Italy, with reference to the central region and *Barbus graellsii*, a newly established alien species of Iberian origin. *Journ. Fish Biol.*, 59 (suppl. A): 190-208.
- BROWN M. L., AUSTEN D. J., 1996. Data management and statistical techniques. In Murphy B.R. e Willis D.W. (editors). *Fisheries Techniques*. American Fisheries Society, Bethesda, 17-62.
- CADRIN S. X., 2000. Advances in morphometric identification of fishery stocks. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 10: 91-112.
- CADRIN S. X., FRIEDLAND K. D., 1999. The utility of image processing techniques for morphometric analysis and stock identification. *Fisheries Research*, 43: 129-139.
- CAROSI A., PEDICILLO G., BICCHI A., ANGELI V., GHETTI L., LORENZONI M., 2006. Distribuzione e abbondanza di *Barbus barbus* (Linnaeus, 1758) nel bacino del fiume Tevere in Umbria. *Quaderni ETP* 34, questo stesso volume.
- CRISPIN L., BERREBI P., 1994. L'hybridation naturelle entre le barbeau commun et le barbeau meridional en France: compte rendu de dix annees de recherche. *Bulletin Francaise del la Pêche et de la Pisciculture*, 334: 177-189.

- CNR, 1982. Bacino del fiume Paglia (Umbria-Toscana). Studi strutturali, idrogeologici e geochimici. CNR, Roma, pp. 112.
- DELLING B., CRIVELLI A. J., RUBIN J. F., BERREBI P., 2000. Morphological variation in hybrids between *Salmo marmoratus* and alien *Salmo* species in the Volarja stream, Soca River basin, Slovenia. *Journ. Fish Biol.*, 57: 1299-1312.
- GANDOLFI G., ZERUNIAN S., TORRICELLI P., MARCONATO A., 1991. I pesci delle acque interne italiane. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma, pp. 617.
- LODGE D. M., TAYLOR C. A., HOLDICH D. M., SKURDAL J., 2000. Non indigenous crayfish threaten North American freshwater biodiversity: lessons from Europe. *Fisheries*, 25 (8): 7-20.
- LORENZONI M., GIOVINAZZO G., MEARELLI M., BALLERINI M., BEVAGNA D., COSTANTINI L., DIPATRIZI M., PETESSE M. L., 1991. Prime considerazioni sulle caratteristiche biologiche e morfologiche di *Salmo trutta* L. del bacino umbro del F. Nera. *SITE Atti*, 12: 465-468.
- LORENZONI M., CAROSI A., PANARA F., 2003. Il recupero del ceppo autoctono della trota fario nel bacino idrografico del Fiume Nera. *Arti Grafiche Nobili*, pp. 184.
- LORENZONI M., CORBOLI M., PAGANO L., PEDICILLO G., CAROSI A., MORELLI S., VIALI P., BALDINI G., GHETTI L., ZEETTI A., NATALI M., BISCARO PARRINI A., DOLCIAMI R., MEZZETTI A., ANDREANI M., BURCHIA A., CASSIERI S., DE LUCA M., MOSSONE M., QUONDAM L. S., UZZOLI C., ANZIANI L., COCCHI M., 2004a. Carta Ittica Regionale. Bacino del Fiume Nera. Perugia, Regione dell'Umbria, pp. 269.
- LORENZONI M., CORBOLI M., GRILLO E., PEDICILLO G., CAROSI A., VIALI P., GHETTI L., BALDINI G., ZEETTI A., NATALI M., DOLCIAMI R., BISCARO PARRINI A., MEZZETTI A., MOSSONE M., ANDREANI M., BURCHIA A., CASSIERI S., DE LUCA M., QUONDAM L. S., UZZOLI C., DI BRIZIO M., 2004b. Carta Ittica Regionale. Bacino del Fiume Nestore. Perugia, Regione dell'Umbria, pp. 216.
- MAITLAND P.S., 2004. Keys to the freshwater fish of Britain and Ireland, with notes on their distribution and ecology. *Freshwater Biol. Ass., Cumbria*, pp. 248.
- MACH R. N., SIMBERLOFF C. D., LONSDALE W. M., EVANS H., CLOUT M., BAZZAZ F., 2000. Biotic invasions: Causes, Epidemiology, Global Consequences and Control. *Issues in Ecology*, 5: 1-24.
- MCKINNEY M. L., LOCKWOOD J. L., 1999. Biotic homogenization: a few winners replacing many losers in the next mass extinction. *Trend in Ecology and Evolution*, 14 (11): 450-453.
- MEARELLI M., LORENZONI M., CAROSI A., GIOVINAZZO G., PETESSE M. L., GHETTI L., MONTILLI G., ANZINI L., D'EMILIO G., ZAMPA O., RUCO P., NELLI P., 1996. Carta ittica della regione Umbria: bacini del F.Chiani e del F.Paglia. Giunta Regionale Servizio per gli interventi ittiofaunistici. Tipografica Salvi, Perugia, pp. 167.
- MEARELLI M., LA PORTA G., LEONI P., LORENZONI M., CAROSI A., CINGOLANI L., GHETTI L., MOSSONE M., UZZOLI C., 2001. Carta Ittica Regionale. Bacino del fiume Chiascio e fiume Topino. Perugia, Regione dell'Umbria, pp. 279.
- MILLS E. L., LEACH J. H., CARLTON J.T e SECOR C. L., 1993. Exotic species in the Great Lakes: a history of biotic crises and anthropogenic introductions. *Journ. Great Lakes Res.*, 19: 1-54.
- REIST J., 1985. An empirical evaluation of several univariate methods that adjust for size variation in morphometric data. *Can. J. Zool.*, 63: 1429-1439.
- ROBY D., LAMBERT J. D., SEVIGNY J. M., 1991. Morphometric and electrophoretic approaches to discrimination of capelin (*Malotus villosus*) population in the estuary and Gulf of Saint Lawrence. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 48: 2040-2050.
- SCHWEIGERT J., 1990. Comparison of morphometric and meristic data against truss networks for describing Pacific Herring stocks. *Am. Fish. Soc. Symp.*, 7: 47-62.
- STRAUSS R. E., BOOKSTEIN F. L., 1982. The truss: body for reconstructions in morphometrics. *Systematic Zool.*, 31 (2): 113-135.
- TSIGENOPOULOS C.S., KARAKOUSIS Y. e BERREBI P., 1999. The North Mediterranean *Barbus* lineage: phylogenetic hypotheses and taxonomic implications based on allozyme data. *Journ. Fish Biol.*, 54: 267-286.
- ZERUNIAN S., 2002. Condannati all'estinzione? Ed agricole, Bologna, pp. 220.
- ZERUNIAN S., 2003. Piano d'azione generale per la conservazione dei Pesci d'acqua dolce italiani. *Quad. Conserv. Natura*, 17, Min. Ambiente – Ist. Naz. Fauna selvatica, pp. 123.